

V-10

コンクリートの養生方法と高性能化に関する実験と考察

北見工業大学工学部 正員 櫻井 宏 鮎田耕一 岡田包儀  
北見工業大学工学部 学生員 ○西村貴志  
(株) 満尾総研 満尾浩治  
千葉窯業(株) 森田秀明

1. 本研究の目的

最近のコンクリートは高強度、高耐久性、美観など、求められる性能も多様化してきており、混和剤や混練り方法の改善による高性能コンクリートの研究が盛んに行われている。しかし、養生方法の改善についての検討は十分ではない。<sup>1) 2)</sup>

本研究は、初期、極初期段階における養生の強度の向上への影響を明らかにするため実験及び考察を行った。

2. 実験概要

2.1. 養生方法

本実験は、養生方法の改善によりコンクリートの性能の強度の向上に着目し、養生条件を表-1の様に变化させ、性能向上のための極初期養生による強度向上試験（以下：強度向上試験と略）を行った。養生の過程を図-1に示す。強度向上試験では高湿潤・水浸・被膜養生(IC)は養生開始時間を打込み直後から3時間、また水浸深さを20, 40, 90cmに変化させ、それ以外のものについては恒温室内で材令1日まで養生した。その後材令1日から強度向上試験では圧縮強度試験材令までそれぞれの養生条件で養生を行った。

表-1 養生条件

| 実験種類 | 養生方法     | 養生条件   | 記号  | CM  |
|------|----------|--------|-----|-----|
| 標準   | 材令1日まで   | 各種試験まで | S   | 125 |
| 度    | 恒温恒湿室    | 恒温恒湿室  | CR  | 67  |
| 向    | 標準・被膜    | 被膜処理後  | SS  |     |
| 上    | 恒温恒湿室・被膜 | 恒温恒湿室  | SCR |     |
| 試    | 高湿潤・水浸   | 被膜処理後  | HC  |     |
| 験    | ・被膜      | 水深変化   |     |     |

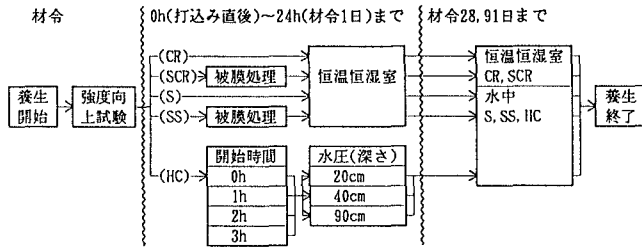


図-1 養生の過程

打込み後の極初期段階における水分の蒸発を最小限に抑えて、コンクリートを常に湿潤に保ちコンクリート表面を緻密にし強度を高める養生を、高湿潤養生(High humid curing: 以下HCと略)とした。

2.2. 実験方法

実験概要を図-2に示す。強度向上試験では、供試体を作製した後に初期値を測定し極初期養生を材令1日まで行う。続いて圧縮強度試験材令まで各種養生条件で養生を行い、試験後、実験結果を各水準ごとに整理し検討及び考察を行った。表-2に実験の水準を、表-3にコンクリートの配合及びフレッシュコンクリートの性質を示す。また強度向上試験では、キャッピングはW/C=25%の高強度のものもあるため端面の研磨を行い平滑にした。

表-2 実験の水準

| 実験種類          | 強度向上試験             |
|---------------|--------------------|
| 供試体サイズ(cm)    | φ10×20             |
| 水セメント比(%)     | 25, 40, 55         |
| 単位セメント量(kg/㎡) | 227, 313, 500      |
| 養生種類          | S, SS, CR, SCR, IC |

表-3 コンクリートの配合及びフレッシュコンクリートの性質

| 実験種類   | 配合      |         |           |           | コンクリートの性質 |              |             |          |
|--------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|--------------|-------------|----------|
|        | W/C (%) | S/a (%) | 単位量(kg/㎡) | 単位量(kg/㎡) | W/C (%)   | 圧縮強度(kg/cm²) | 弾性係数(N/mm²) | 空気含有率(%) |
| 強度向上試験 | 25      | 42      | 227       | 500       | 792       | 1194         | 2.3         | 0.9      |
|        | 40      | 42      | 313       | 875       | 282       | 2.3          | 0.9         | 3.5      |
|        | 55      | 42      | 500       | 886       | 337       | 2.1          | 0.9         | 0.0      |
|        | 25      | 42      | 227       | 500       | 792       | 1194         | 2.3         | 0.9      |

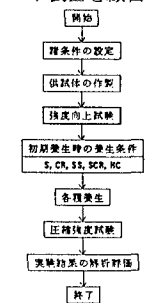


図-2 実験概要

3. 実験結果及び考察

3.1. 強度向上試験結果

図-3に養生条件と各水セメント比ごとの圧縮強度の関係を示す。いずれの水セメント比でも標準養生(S)よりも材令1日までは被膜処理を行い養生を行った標準・被膜養生(SS)の方が高い値を示している。また、同様にいずれの水セメント比でも恒温恒湿室養生(CR)よりも材令1日まで被膜処理を行い養生を行った恒温恒湿室・被膜養生(SCR)の方が高い値を示している。図-4にW/C=40%で標準養生(S)を基準として、水浸深さ、水浸養生開始時間と各養生条件の圧縮強度を圧縮強度比として表したものの関係を示す。W/C=40%では水浸養生(W)の開始時間の0時間のものでは、水深の浅いものが圧縮強度比が高い傾向を示している。続いて1時間のものは、水深40cmのものが圧縮強度比が一番高く、続いて90cm, 20cmとなっている。水浸養生開始時間が打込み後2時間以降のものは、いずれの水セメント比においても水浸養生の水深の大きいものが、圧縮強度比が高い傾向を示している。

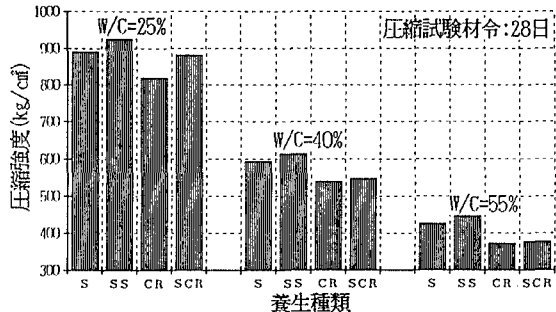


図-3 各種養生条件と圧縮強度の関係

次に、図-5に $W/C=25\%$ のものを示す。 $W/C=25\%$ では水浸養生の開始時間の1時間のものも、0時間と同様の傾向を示し、その水深が浅いほど圧縮強度比が高い傾向を示している。また水浸養生開始時間が0時間のものは水浸深さが浅いほど圧縮強度比が高い傾向がみられる。しかし、水浸養生開始時間が打込み後2時間以降のものは水深の深いものが圧縮強度比が高い傾向を示している。

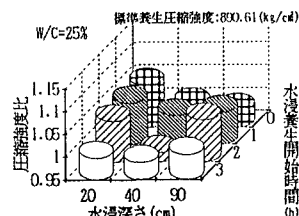
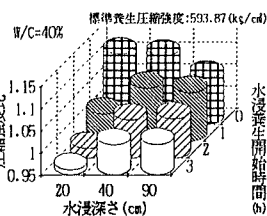


図-4 水浸深さ、養生開始時間と圧縮強度比の関係

図-5 水浸深さ、養生開始時間と圧縮強度比の関係

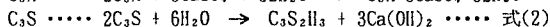
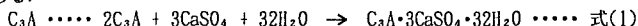
### 3.2. 考察

#### 3.2.1. 極初期養生と強度に関する考察

水浸養生開始時間2時間のものを通じて圧縮強度比と水深等の傾向が異なった原因は、凝結開始時間が関係したものとされる。特に、 $W/C=25\%$ のものが他の水セメント比と比べてばらつきが生じたのは、高性能AE減水剤の遅延効果が生じたためと思われる。また、 $W/C=25\%$ のように水セメント比が低いコンクリートではコンクリート表面近くが早く硬化し水分の移動が起りにくくなることが原因の1つであると思われる。

また水浸養生を行うことによって強度が増加する傾向が現れる原因として、第一に標準養生を行ったコンクリートは外部からの水の供給が材令1日ではなく、自己脱水によってペースト中の水和に必要な水分が少なくなり、十分な水和が進まないのに対して、水浸養生を行うとコンクリート表面からの水分の蒸発が妨げられ、かつ水分が供給され自己脱水現象が抑制されたためと考えられる。図-6に自己脱水のモデルを示す。

また、セメントの成分中の組成の主なものには $C_3S$ 、 $C_2S$ 、 $C_3A$ 、 $C_4AF$ があるが、このうち極初期養生を行った材令1日までの水和反応に特に関係あると思われるのは $C_3A$ であり、 $C_3S$ も材令28日までの強度に影響を与える。この化学反応は次の2式である。



この2つの成分はいずれも水と混練後直ちに水和反応を始め、早期強度に大きく影響を与える。特に $C_3A$ は含有量こそ少ないが水和の際に $H_2O$ を多く必要とするためコンクリート中の水和に必要な十分な水分が供給されなくなると強度が抑制される。したがって、極初期段階を高湿潤に保つと水分が十分に供給され強度が増加する影響があると思われる。

#### 3.3. コンクリートの養生と性能向上の関係

養生条件を変化させた実験の結果、コンクリートは、極初期の段階から養生を管理すると強度等の性能が向上できる可能性がある。

また、現在行われている湿潤養生は表面を荒らさないほど硬化した後、湿潤に保ち養生を行う程度<sup>3)</sup>であったが、さらに性能を向上させるためには極初期の養生が重要である。

図-7に高湿潤・水浸・被膜養生のモデルを示す。極初期の湿潤養生によってコンクリート表面からの水の蒸発を防ぎ $10^4$ Åの毛管の発生を防止するとともに<sup>4) 5)</sup>、自己脱水で不足する水を補うことにより、美観の一要因である白華現象の防止や、高強度化が可能となる表面が緻密なコンクリートを作製することができる。<sup>6)</sup>したがって、極初期の段階から養生を管理し、水を可能な限り蒸発させないことが大切である。

また、高強度化を考える上で水セメント比等の配合や高性能AE減水剤の使用により生じる凝結遅延現象等を考慮に入れた効果的な養生を行うことも重要である。

#### 4. 結論

供試体からの水分の蒸発を防いだ極初期の湿潤程度が高い養生を行い、凝結直後に水分を供給すると極初期に水和するセメント成分の水和に影響を与え、コンクリートの強度が通常の標準養生よりも向上する傾向がある。

#### 【謝辞】

本研究にあたり北海道大学の佐伯昇教授、藤田嘉夫北見工業大学前客員教授の御指導と御協力を受けた。ここに感謝する。本研究の実施にあたり、花王株式会社、藤沢薬品工業株式会社の御協力を得た。また北見工業大学の猪狩平三郎技官、同大学大学院卒業生の迫、阿部、中尾氏、同大学大学院の田中氏、また同大学卒業生の磯野、川上、白山、田中、八重樫氏に実験及び解析に御協力を得た。ここに感謝する。

#### 【参考文献】

- 1) セメント技術大会講演論文集49号、平成6年度版、P748～P753、1994
- 2) 満尾浩治：コンクリート再発見、技報堂、1994
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書、平成3年度版、P84～P87、1991
- 4) 櫻井宏、鮎田耕一、岡田包儀、荒木敬大：土木学会北海道支部、論文報告集、平成5年度、P972～P975
- 5) 櫻井宏、鮎田耕一、迫直人、満尾浩治、森田秀明：土木学会年次講演概要集、平成6年度、P1070～P1071
- 6) 尾坂芳夫、後藤幸正訳：ネビルのコンクリートの特性、技報堂出版、P11～P18、1980

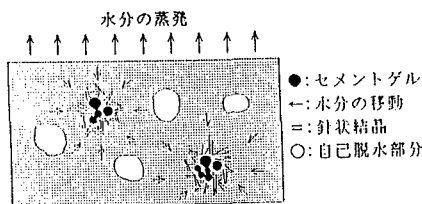


図-6 自己脱水のモデル

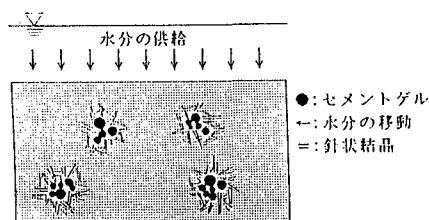


図-7 高湿潤・水浸・被膜養生のモデル